

21.08.03

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

REC'D 10 OCT 2003

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application: 2002年 8月26日

出願番号  
Application Number: 特願2002-244895  
[ST. 10/C]: [JP2002-244895]

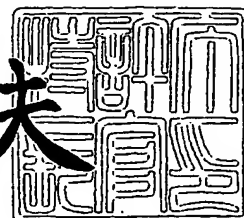
出願人  
Applicant(s): 独立行政法人物質・材料研究機構  
京セラ株式会社

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 9月25日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



BEST AVAILABLE COPY

【書類名】 特許願  
【整理番号】 P2138NIM  
【提出日】 平成14年 8月26日  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 H01L 21/02  
H01L 21/08  
H01L 29/00  
H01L 33/00  
H01S 03/18

## 【発明者】

【住所又は居所】 茨城県つくば市千現一丁目 2 番 1 号 独立行政法人物質  
・材料研究機構内

【氏名】 大谷 茂樹

## 【発明者】

【住所又は居所】 滋賀県八日市市蛇溝町長谷野 1 1 6 6 番地の 6 京セラ  
株式会社 滋賀工場内

【氏名】 木下 博之

## 【発明者】

【住所又は居所】 京都府八幡市西山足立 1 - 9

【氏名】 松波 弘之

## 【発明者】

【住所又は居所】 京都府京都市左京区浄土寺真如町 1 7 7 - 3 1

【氏名】 須田 淳

## 【発明者】

【住所又は居所】 愛知県名古屋市名東区山の手 2 - 1 0 4 宝マンション  
山の手 5 0 8

【氏名】 天野 浩

## 【発明者】

【住所又は居所】 愛知県名古屋市西区浄心 1 - 1 - 3 8 - 8 0 5

【氏名】 赤崎 勇

## 【発明者】

【住所又は居所】 愛知県名古屋市天白区梅が丘 4 丁目 2 1 6 - 2 0 3

【氏名】 上山 智

## 【特許出願人】

【識別番号】 301023238

【氏名又は名称】 独立行政法人物質・材料研究機構

## 【特許出願人】

【識別番号】 000006633

【氏名又は名称】 京セラ株式会社

## 【代理人】

【識別番号】 100082876

【弁理士】

【氏名又は名称】 平山 一幸

【電話番号】 03-3352-1808

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100069958

【弁理士】

【氏名又は名称】 海津 保三

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 031727

【納付金額】 3,360円

【その他】 国等以外の全てのものの持分の割合 1 6 / 1 0 0

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 二硼化物単結晶基板、それを用いた半導体レーザダイオード及び半導体装置並びにそれらの製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 二硼化物 $XB_2$ （ここで、Xは、ZrまたはTi）の単結晶基板であって、

面方位が（0001）面であり、かつ基板の厚さを0.1mm以下としたことを特徴とする、二硼化物単結晶基板。

【請求項2】 前記基板は、（10-10）面、または、（11-20）面を示すオリエンテーションフラットを有していることを特徴とする、請求項1に記載の二硼化物単結晶基板。

【請求項3】 二硼化物 $XB_2$ （ここで、Xは、ZrまたはTi）単結晶の（0001）面を方位とする基板上に、半導体レーザダイオードが形成されたことを特徴とする、半導体レーザダイオード。

【請求項4】 前記二硼化物 $XB_2$ 単結晶基板上に形成された半導体レーザダイオードの動作層が多重層からなり、前記二硼化物 $XB_2$ 単結晶基板は、（10-10）面に沿った切断面を有し、上記多重層における半導体レーザー光の共振器をなす2つの対向端面が前記二硼化物 $XB_2$ 単結晶基板の（10-10）面に平行な劈開面によって形成されていることを特徴とする、請求項3に記載の半導体レーザダイオード。

【請求項5】 前記二硼化物 $XB_2$ 単結晶基板の厚さは、0.1mm以下であることを特徴とする、請求項3または4に記載の半導体レーザダイオード。

【請求項6】 前記二硼化物 $XB_2$ 単結晶基板は、Zr $B_2$ 単結晶基板であり、前記半導体レーザダイオードの動作層となる多重層は、窒化物系化合物半導体（ $Al_xGa_yIn_zN$ 、ここで、 $x+y+z=1$ ）からなることを特徴とする、請求項3～5の何れかに記載の半導体レーザダイオード。

【請求項7】 二硼化物単結晶 $XB_2$ （ここで、Xは、ZrまたはTi）の（0001）面を方位とする基板上に形成された半導体装置であって、

上記二硼化物 $XB_2$ 単結晶基板は、（10-10）面に沿ってダイヤモンドペ

ンなどによりスクライブして切断された2つの切断面を有し、

上記半導体装置の素子の側面に該当する面のうち少なくとも一面が上記二硼化物 $\text{XB}_2$  単結晶基板の $(10-10)$ 面に平行な面を有することを特徴とする、半導体装置。

【請求項8】 前記半導体装置は、半導体レーザダイオードであることを特徴とする、請求項7に記載の半導体装置。

【請求項9】 前記半導体装置は、発光ダイオードであることを特徴とする、請求項7に記載の半導体装置。

【請求項10】 前記半導体装置は、フォトディテクタであることを特徴とする、請求項7に記載の半導体装置。

【請求項11】 前記半導体装置は、ヘテロ接合バイポーラトランジスタであることを特徴とする、請求項7に記載の半導体装置。

【請求項12】 前記半導体装置は、電界効果トランジスタであることを特徴とする、請求項7に記載の半導体装置。

【請求項13】 前記半導体装置は、集積回路であることを特徴とする、請求項7に記載の半導体装置。

【請求項14】 前記二硼化物単結晶 $\text{XB}_2$  基板の厚さが、 $0.1\text{mm}$ 以下であることを特徴とする、請求項7～13の何れかに記載の半導体装置。

【請求項15】 前記二硼化物単結晶 $\text{XB}_2$  基板は、 $\text{ZrB}_2$  単結晶基板であり、前記半導体装置は、窒化物系化合物半導体 $(\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N})$ 、ここで、 $x+y+z=1$ ）からなることを特徴とする、請求項7～14の何れかに記載の半導体装置。

【請求項16】 二硼化物単結晶 $\text{XB}_2$ （ここで、 $X$ は、 $\text{Zr}$ または $\text{Ti}$ ）の $(0001)$ 面を方位とする基板上に半導体レーザダイオードの動作層が形成される工程と、

上記二硼化物単結晶 $\text{XB}_2$  基板及び半導体レーザダイオードの動作層が上記二硼化物単結晶 $\text{XB}_2$  基板の $(10-10)$ 面に沿ってスクライブし切断することで多数個に分割される工程と、

を含むことを特徴とする、半導体レーザダイオードの製造方法。

【請求項 17】 前記二硼化物単結晶  $\text{XB}_2$  基板及び半導体レーザダイオードの動作層が、前記二硼化物  $\text{XB}_2$  単結晶基板の  $(10-10)$  面に沿ってスクライブして切断することで多数個に分割される工程の前に、前記二硼化物単結晶  $\text{XB}_2$  基板が、少なくとも  $0.1\text{ mm}$  以下の厚さにされる工程を含むことを特徴とする、請求項 16 に記載の半導体レーザダイオードの製造方法。

【請求項 18】 前記二硼化物単結晶  $\text{XB}_2$  基板の厚さが、 $0.1\text{ mm}$  以下とされることを特徴とする、請求項 16 に記載の半導体レーザダイオードの製造方法。

【請求項 19】 前記二硼化物単結晶  $\text{XB}_2$  基板は、 $\text{ZrB}_2$  単結晶基板であり、前記半導体レーザダイオードの動作層となる多重層は、窒化物系化合物半導体 ( $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 、ここで、 $x+y+z=1$ ) からなることを特徴とする、請求項 16～18 の何れかに記載の半導体レーザダイオードの製造方法。

【請求項 20】 二硼化物単結晶  $\text{XB}_2$  (ここで、 $\text{X}$  は、 $\text{Zr}$  または  $\text{Ti}$ ) の  $(0001)$  面を方位とする基板上に半導体素子が形成される工程と、  
上記二硼化物単結晶  $\text{XB}_2$  基板上の半導体素子を分離する際に、上記二硼化物単結晶  $\text{XB}_2$  基板の  $(10-10)$  面に平行に素子が切断される工程と、  
を含むことを特徴とする、半導体装置の製造方法。

【請求項 21】 前記素子の切断される工程が、劈開によることを特徴とする、請求項 20 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 22】 前記二硼化物単結晶  $\text{XB}_2$  基板上の半導体素子を分離する際に、前記  $\text{XB}_2$  単結晶基板の  $(10-10)$  面に平行に素子が切断される工程の前に、前記  $\text{XB}_2$  単結晶基板が、少なくとも  $0.1\text{ mm}$  以下の厚さにされる工程を含むことを特徴とする、請求項 20 または 21 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 23】 前記二硼化物単結晶  $\text{XB}_2$  基板が、 $0.1\text{ mm}$  以下の厚さとされることを特徴とする、請求項 20 又は 21 に記載の半導体装置製造方法。

【請求項 24】 前記二硼化物単結晶  $\text{XB}_2$  基板は、 $\text{ZrB}_2$  単結晶基板であり、前記半導体素子は、窒化物系化合物半導体 ( $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 、ここで、 $x+y+z=1$ ) からなることを特徴とする、請求項 20～23 の何れかに

記載の半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】

本発明は、窒化物系化合物半導体に必要な基板と、それを用いた半導体レーザーダイオード及び半導体装置並びにそれらの製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

半導体レーザーダイオード（以下、LDと呼ぶ）や、発光ダイオード（以下、LEDと呼ぶ）素子は、光ディスク装置などの様々な機器に応用されている。

近年、これらの光ディスク装置の記憶容量を増大させるために波長の短い青～紫外域の発光ができる窒化物系化合物半導体材料を用いたLEDやLDが、開発されている。窒化物系化合物半導体は、禁制帯幅が大きいので降伏電圧が高い。また、移動度が大きいので、高周波特性に優れることから各種のトランジスタの開発が行われている。

従来の窒化物系化合物半導体を用いたLDや高周波用トランジスタは、窒化物系化合物半導体の、例えば窒化ガリウム（GaN）の品質の良い基板が得られていないので、サファイア単結晶基板上に、窒化物系化合物半導体装置を形成していた。

【0003】

窒化物系化合物半導体を用いたLDの製造方法の第1の従来例として、特開平7-297495号公報による技術がある。図19は、この第1の従来例のLDの構成を示す断面図である。このLD40は、サファイア単結晶基板41の（11-20）面上に、LDの動作層として、AlNバッファ層42， $n^+$ GaN層43， $n\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層44，GaN層45， $p\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層46からなる多重層が、順次積層されている。最上層の $p\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層46上に $\text{SiO}_2$ 膜47が堆積され、電極用の窓が開けられて、p層46の電極48Aが形成されている。n層44の電極48Bは、 $n^+$ GaN層43上に形成されている。



## 【0004】

LD40のファブリペロー共振器の共振面は、レーザ発光の光路（紙面の垂直方向）に垂直な対向端面に構成されている。

第1の従来例には、共振器となる対向端面は、単結晶サファイア基板41を<0001>軸（c軸）に沿って劈開し、分割することによって得ることが開示されている。これにより、対向端面を精密な鏡面とすることにより、窒化物系化合物半導体によるLD40の発振効率を向上させることが示されている。

## 【0005】

一方、第2の従来例として、二硼化ジルコニウム（ $ZrB_2$ ）基板が、窒化物系化合物半導体の基板として有望であることが報告されている（J. Suda、H. Matsunami、Journal of Crystal Growth、Vol. 237-239、pp. 210-213、2002年）。

$ZrB_2$  基板は、高周波加熱の浮遊帯溶解法（FZ法）により単結晶が得られ、窒化物系化合物半導体と良好に格子整合し、かつ、優れた導電性を有している。また、窒化物系化合物半導体は、 $ZrB_2$  基板上に、エピタキシャル成長させることができる。

## 【0006】

## 【発明が解決しようとする課題】

第1の従来例のLDの製造方法において、サファイア基板41をc軸に沿って劈開した場合、サファイア基板41は、その劈開面が（10-12）面とされているが、この結晶面は、窒化物系化合物半導体の劈開面である（10-10）面とは異なるので、安定した劈開面が得られないという課題がある。

そのために、窒化物系化合物半導体のファブリペロー共振器となる対向端面の面精度、平行度を高くすることができないため、歩留まり良く、発振効率の高いLDを得ることができないという課題がある。

## 【0007】

III-V族化合物系半導体を用いたLDは、動作層の表面と基板裏面とにオーミック電極を設け、基板の表面側から裏面へ電流を流す、いわゆる縦構造素子である。しかし、サファイア単結晶基板41は絶縁物であるために、サファイア基

板 4 1 の裏面をオーミック電極とすることはできないので、縦型構造素子は実現できない。従って、LD 4 0 において、多重層の下部である  $n^+$  層 4 3 に、電極 4 8 B を、素子上面部に形成する必要がある。

この  $n^+$  層 4 3 を素子上面に露出させるためには、例えば LD の多重層を結晶成長させるときに、 $n^+$  層 4 3 の成長が済んだら、結晶成長を中止して、電極となる部分を結晶成長されない  $\text{SiO}_2$  4 7 などの絶縁物で被覆し、さらに多重層を成長させるという、いわゆる選択成長を行う必要がある。または、多重層を形成した後に、電極となる  $n^+$  領域をエッチングにより素子表面へ露出させる工程などにより行う。これにより、工程が増えるために、歩留まりが低下しコストが増大するという課題がある。

#### 【0008】

また、サファイア単結晶基板 4 1 は、熱伝導率が小さいので、サファイア単結晶基板 4 1 を用いた窒化物系化合物半導体の LD 4 0 や各種の半導体装置の動作時の温度が上昇し易い。そのために、LD 4 0 の寿命が短くなったり、また、高周波用トランジスタの出力と効率が上がらないといった、窒化物系化合物半導体装置の有する本来の性能を十分に発揮できないという課題がある。

#### 【0009】

また、第 2 の従来例において、 $\text{ZrB}_2$  結晶基板を例えば LD の基板として使用した場合に、LD の共振面を形成するとき  $\text{ZrB}_2$  基板も同時に劈開することが必要である。しかし、 $\text{ZrB}_2$  基板の明瞭な劈開面は確認されていないという課題がある。

#### 【0010】

本発明は、上記課題に鑑み、窒化物系化合物半導体の劈開面と同じ劈開面を有し、かつ、導電性を有する基板と、それを用いた半導体レーザダイオード及び半導体装置、並びにそれらの製造方法を提供することを目的とする。

#### 【0011】

##### 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本発明の基板は、二硼化物  $\text{XB}_2$ （ここで、X は、 $\text{Zr}$  または  $\text{Ti}$ ）の単結晶基板であって、面方位が  $(0001)$  面であり、かつ

基板の厚さを 0.1 mm 以下としたことを特徴とする。上記二硼化物単結晶基板は、(10-10) 面、または、(11-20) 面を示すオリエンテーションフラットを有していればよい。

#### 【0012】

本発明の半導体レーザダイオードは、二硼化物  $XB_2$  (ここで、X は、Zr または Ti) 単結晶の (0001) 面を方位とする基板上に、半導体レーザダイオードが形成されたことを特徴とする。

前記二硼化物  $XB_2$  単結晶基板上に形成された半導体レーザダイオードの動作層が多重層からなり、二硼化物  $XB_2$  単結晶基板は、(10-10) 面に沿った切断面を有し、多重層における半導体レーザ光の共振器をなす 2 つの対向端面が二硼化物  $XB_2$  単結晶基板の (10-10) 面に平行な劈開面によって形成されていればよい。

二硼化物  $XB_2$  単結晶基板の厚さは、0.1 mm 以下であればよい。

また、前記二硼化物  $XB_2$  単結晶基板は、好ましくは、ZrB<sub>2</sub> 単結晶基板であり、半導体レーザダイオードの動作層となる多重層は、窒化物系化合物半導体 ( $Al_xGa_yIn_zN$ 、ここで、 $x+y+z=1$ ) から構成される。

この構成によれば、半導体レーザダイオードを形成する以前若しくは形成した後に  $XB_2$  基板を 0.1 mm 以下の厚さにしておけば、 $XB_2$  基板並びに半導体レーザダイオードを、 $XB_2$  並びに半導体レーザダイオードを構成する窒化物系化合物半導体の (10-10) 面に沿って良好な直線性を以て容易に分割することができ、半導体レーザダイオードの共振器を構成する対向端面を容易に形成することができる。

また、素子分割の観点からも、切断しろのない素子の分割方法を実現することができる。

#### 【0013】

本発明の半導体装置は、二硼化物単結晶  $XB_2$  (ここで、X は、Zr または Ti) の (0001) 面を方位とする基板上に形成された半導体装置であって、二硼化物  $XB_2$  単結晶基板は、(10-10) 面に沿ってダイヤモンドペンなどによりスクライブして切断された 2 つの切断面を有し、半導体装置の素子の側面に

該当する面のうち少なくとも一面が二硼化物  $XB_2$  単結晶基板の  $(10-10)$  面に平行な面を有することを特徴とする。

前記半導体装置は、半導体レーザダイオード、発光ダイオード、フォトディテクタ、ヘテロ接合バイポーラトランジスタ、電界効果トランジスタ、集積回路のいずれかであってよい。

また、二硼化物単結晶  $XB_2$  基板の厚さは、好ましくは、 $0.1\text{ mm}$ 以下である。

また、二硼化物単結晶  $XB_2$  基板は、 $ZrB_2$  単結晶基板であり、半導体装置は、窒化物系化合物半導体 ( $Al_xGa_yIn_zN$ 、ここで、 $x+y+z=1$ ) からなるのが好ましい。

この構成によれば、半導体装置を形成する以前若しくは形成した後に、 $XB_2$  基板を  $0.1\text{ mm}$ 以下の厚さにしておけば、 $XB_2$  基板並びに半導体装置を、 $XB_2$  並びに半導体装置を構成する窒化物の  $(10-10)$  面に沿って良好な直線性を保って容易に分割することができる。

また、この構成によれば、 $ZrB_2$  を窒化物系化合物半導体の基板として用い、基板側に電極を形成する縦型構造の窒化物系化合物半導体素子を形成することができる。

#### 【0014】

さらに、本発明による半導体レーザダイオードの製造方法は、二硼化物単結晶  $XB_2$  (ここで、 $X$ は、 $Zr$ または $Ti$ ) の  $(0001)$  面を方位とする基板上に半導体レーザダイオードの動作層を形成する工程と、二硼化物単結晶  $XB_2$  基板及び半導体レーザダイオードの動作層を二硼化物単結晶  $XB_2$  基板の  $(10-10)$  面に沿って劈開して多数個に分割する工程からなることを特徴とする。

前記二硼化物単結晶  $XB_2$  基板及び半導体レーザダイオードの動作層が  $XB_2$  単結晶基板の  $(10-10)$  面に沿って劈開して多数個に分割される工程の前に、二硼化物単結晶  $XB_2$  基板を、少なくとも  $0.1\text{ mm}$ 以下の厚さにする工程を含んでいてもよい。

二硼化物単結晶  $XB_2$  基板の厚さは、好ましくは、 $0.1\text{ mm}$ 以下とされる。

前記二硼化物単結晶  $XB_2$  基板は、好ましくは、 $ZrB_2$  単結晶基板であり、

半導体レーザダイオードの動作層となる多重層は、好ましくは、窒化物系化合物半導体 ( $\text{Al}_x \text{Ga}_y \text{In}_z \text{N}$ 、ここで、 $x + y + z = 1$ ) からなる。

この構成によれば、半導体レーザダイオードを形成する以前若しくは形成した後に  $\text{XB}_2$  単結晶基板を 0.1 mm 以下の厚さにしておけば、 $\text{XB}_2$  単結晶基板並びに半導体レーザダイオードを、 $\text{XB}_2$  単結晶基板並びに半導体レーザダイオードを構成する窒化物の (10-10) 面に沿って良好な直線性を保って容易に分割することができ、半導体レーザダイオードの共振器を構成する対向端面を容易に形成することができる。

また、素子分割の観点からも、切断しろのない素子の分割方法を実現することができる。

#### 【0015】

また、本発明の半導体装置の製造方法は、二硼化物単結晶  $\text{XB}_2$  (ここで、 $\text{X}$  は、 $\text{Zr}$  または  $\text{Ti}$ ) の (0001) 面を方位とする基板上に半導体素子を形成する工程と、二硼化物単結晶  $\text{XB}_2$  基板上的半導体素子を分離する際に、二硼化物単結晶  $\text{XB}_2$  基板の (10-10) 面に平行に素子を切断する工程からなることを特徴とする。

前記素子を切断する工程は、好ましくは、劈開によって行う。また、二硼化物単結晶  $\text{XB}_2$  基板上的半導体素子を分離する際に、 $\text{XB}_2$  単結晶基板の (10-10) 面に平行に素子を切断する工程の前に、 $\text{XB}_2$  単結晶基板を、少なくとも 0.1 mm 以下の厚さにする工程を含むことを特徴とする。前記二硼化物単結晶  $\text{XB}_2$  基板の厚さは、好ましくは、0.1 mm 以下となっている。

また、二硼化物単結晶  $\text{XB}_2$  基板は、 $\text{ZrB}_2$  単結晶基板であり、半導体素子は、窒化物系化合物半導体 ( $\text{Al}_x \text{Ga}_y \text{In}_z \text{N}$ 、ここで、 $x + y + z = 1$ ) からなっていれば好ましい。

この構成によれば、半導体装置を形成する以前若しくは形成した後に  $\text{XB}_2$  単結晶基板を 0.1 mm 以下の厚さにしておけば、 $\text{XB}_2$  単結晶基板並びに半導体装置を、 $\text{XB}_2$  単結晶基板並びに半導体装置を構成する窒化物の (10-10) 面に沿って良好な直線性を保って容易に分割することができる。

また、 $\text{ZrB}_2$  を窒化物系化合物半導体の基板として用いれば、基板側に電極

を形成する縦型構造の窒化物系化合物半導体素子を形成することができる。

#### 【0016】

##### 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

初めに本発明の基板の第1の実施の形態を示す。

図1は本発明に係る第1の実施の形態による基板の構成を示す図である。図1(a)は二硼化物 $XB_2$ 単結晶基板の平面図であり、図1(b)はそのA-A断面図である。図1において、単結晶基板1は、二硼化物 $XB_2$  (Xは、Zr (ジルコニウム) またはTi (チタン) のいずれか一つであり、Bは硼素である。) からなっている。

ここで単結晶基板1として、XがZrである $ZrB_2$ を例にとって説明する。この $ZrB_2$ 単結晶基板1は、(0001)面2を主表面とし、短辺がL1で、長辺がL2の寸法を有している。短辺の側面4は、(10-10)面、または、(11-20)面であり、オリエンテーションフラットとなっている。

#### 【0017】

図1(b)は図1(a)のA-A断面である。基板の裏面は3で示している。基板1の厚さtは、後述するように、劈開し易いように、厚さが、0.1mm以下が好適である。

#### 【0018】

次に、本発明の $ZrB_2$ 単結晶基板の劈開について説明する。

図1に示すように、厚さが0.06mmの $ZrB_2$ 単結晶基板1の表面2もしくは裏面3において、この結晶の(10-10)面4に平行に、表面2もしくは裏面3を、ダイヤモンドペンを用いてスクライブし、スクライブ線5が劈開の基線となるように(0001)面2に応力をかけて切断する。

#### 【0019】

次に、本発明の基板の作用効果を説明する。

多数の $ZrB_2$ 単結晶基板を作製し、機械的もしくは熱的な衝撃を与えて劈開した切断面について綿密な観察を行った結果、(0001)面2を主表面とする $ZrB_2$ 単結晶基板1の厚さを0.1mm以下にすれば、切断面が(10-10

) 面 4 に平行で、かつ、 $(0001)$  面 2 において  $(10-10)$  面 4 と  $(10-11)$  面が交わる交線に沿って、直線的に割れることが判明した。

これにより、従来劈開が困難であった  $(0001)$  面 2 を有する  $ZrB_2$  単結晶基板 1 において、およそ  $0.1\text{ mm}$  以下の厚さにした  $ZrB_2$  単結晶基板は、 $(0001)$  面 2 を主表面とする  $ZrB_2$  単結晶基板 1 の本来の劈開面である  $(10-11)$  面での切断面は得られず、 $(10-10)$  面 4 で良好な切断面が得られる。

### 【0020】

上述した  $ZrB_2$  単結晶基板 1 の切断面が、本来の劈開面である  $(10-11)$  面とならないで  $(10-10)$  面 4 となる理由を説明する。

始めに、 $ZrB_2$  単結晶基板 1 の  $(10-11)$  面と、 $(10-10)$  面 4 の位置関係について説明する。

図 2 は、 $ZrB_2$  結晶における主要な面の相対関係を示す図である。 $ZrB_2$  は、六方晶系の結晶構造を有している。六角柱の底面上に、 $a_1$  軸、 $a_2$  軸、 $a_3$  軸があり、この底面に垂直な方向が  $c$  軸である。図示するように、六角柱の底面が  $(0001)$  面 2 である。この底面の六角形の一辺が格子定数  $a$  である。

また、図に示すように  $(0001)$  面 2 に対して、 $(10-10)$  面 4 は、 $90^\circ$  の角をなしている。また、 $(0001)$  面 2 と  $(10-11)$  面 7 のなす角度は、 $52.15^\circ$  である。そして、 $(10-11)$  面 7 と  $(10-10)$  面 4 は、 $(0001)$  面 2 において交線 8 で交わっている。

### 【0021】

図 3 は、 $ZrB_2$  単結晶基板の  $(0001)$  面基板における  $(10-11)$  面の相対位置を示した斜視図である。図示するように、本来の劈開面である  $(10-11)$  面 7 と、 $(0001)$  面 2 のなす角度は、 $52.15^\circ$  で、垂直ではない。従って、 $(10-11)$  面 7 と、 $ZrB_2$  単結晶基板 1 の表面 2 と裏面 3 との交線は、図中に示した  $L$  というずれが生じる。

### 【0022】

$ZrB_2$  単結晶基板 1 の劈開面が、本来の劈開面である  $(10-11)$  面 7 とならず  $(10-10)$  面 4 となる理由は、まず第 1 に本来の劈開面である  $(1$

0-11) 面7が(0001) 面2に垂直ではないために、スクライプの後に加えられる応力が(10-11) 面7には加わりにくいことによる。

次に、スクライプの後に加えられる応力に対する(10-11) 面7の降伏点が、(0001) 主表面2に垂直な(10-10) 面4に対する応力の降伏点よりも高いので、(10-10) 面4に沿って切断され易いものと考えられる。

すなわち、基板の厚さを薄くすると、切断し易い(10-10) 面2と、切断されにくい(10-11) 面7との応力に対する降伏点の差が僅差であっても、切断し易い(10-10) 面4での切断が先に発生するものと推測される。

一方、ZrB<sub>2</sub> 単結晶基板1が厚くなると、薄い場合には切断し易かった(10-10) 面4も応力に対する降伏点が向上し、容易に切断しにくくなり、切断面が(10-10) 面4から屈曲して割れるようになると推測される。

#### 【0023】

なお、TiB<sub>2</sub> 単結晶基板の場合には、上記の(10-11) 面7と、(0001) 面2のなす角度は、50.9°であり、ZrB<sub>2</sub> 単結晶基板1と同様に基板の厚さがおよそ0.1mm以下で、(10-10) 面4の劈開による切断面が安定して得られる。

#### 【0024】

ZrB<sub>2</sub> 単結晶基板の格子定数は、 $a = 3.169 \text{ \AA}$ である。窒化物系化合物半導体のGaNと、AlNの格子定数は、それぞれ、 $3.189 \text{ \AA}$ 、 $3.112 \text{ \AA}$ であるので、ZrB<sub>2</sub> 単結晶基板とほぼ格子整合がとれる。

また、Ga<sub>x</sub>Al<sub>1-x</sub>Nのような窒化物系化合物半導体の混晶は、その格子定数が組成比によって変化し、所謂ベガード則によってGaNとAlNの格子定数の中間の値となるので、ZrB<sub>2</sub> 単結晶基板と良好に格子整合がとれる。

#### 【0025】

ZrB<sub>2</sub> 単結晶基板は化学的に安定で、抵抗率は数 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ であり、窒化物系化合物半導体を用いたダイオードや、バイポーラトランジスタのような基板を電極として使用し、素子の表面側から基板に縦方向に電流を流す縦型構造素子の基板として最適である。また、ZrB<sub>2</sub> 単結晶基板1の熱伝導率は、ほぼSiと同じであり、GaAsやサファイア基板の約3倍の値である。従って、ZrB<sub>2</sub>



単結晶基板上に形成した窒化物系化合物半導体装置の放熱に適している。

#### 【0026】

また、 $\text{TiB}_2$  単結晶基板の格子定数は、 $a = 3.030 \text{ \AA}$ であり、 $\text{ZrB}_2$  単結晶基板 1 よりは若干小さいが、 $\text{GaN}$ と $\text{AlN}$ とほぼ格子整合がとれる。また、 $\text{ZrB}_2$  と $\text{TiB}_2$  の固溶体 ( $\text{Zr}_x \text{Ti}_{1-x} \text{B}_2$ ) も、窒化物系化合物半導体の基板として使用できる。

本発明において、厚さを  $0.1 \text{ mm}$ 以下とした  $(0001)$  面  $\text{XB}_2$  単結晶基板 1 によれば、窒化物系化合物半導体の劈開面である  $(10-10)$  面と一致する  $(10-10)$  面 4 の劈開面が、安定して得られる。また、 $\text{XB}_2$  単結晶基板 1 の抵抗が小さく、熱伝導率も大きいので、窒化物系化合物半導体の基板として好適である。

#### 【0027】

次に、本発明の  $\text{ZrB}_2$  単結晶基板の実施例について説明する。

図 4 は本発明の  $\text{ZrB}_2$  基板の実施例を示す図である。図 4 (a) は、本発明の基板である  $\text{ZrB}_2$  の円形単結晶基板の平面図であり、図 4 (b) は、その B-B 断面図である。図 4 (a) で示される  $\text{ZrB}_2$  の円形単結晶基板は、図 1 と同様に  $(0001)$  面 2 を主表面としている。劈開面となる  $(10-10)$  面 4、または、 $(11-20)$  面の位置は、オリエンテーションフラット 6 により示される。図 4 (b) に示す断面は、図 1 (b) と同様であるので、説明は省略する。

#### 【0028】

つぎに、図 1 に示す  $\text{ZrB}_2$  単結晶基板の製造方法について説明する。

市販の  $\text{ZrB}_2$  粉末を粉末成形し、 $1400^\circ\text{C}$ 程度で真空焼成して  $\text{ZrB}_2$  結晶の原料棒を作製する。高周波 FZ 法により、この原料棒を単結晶化する。高周波 FZ 法は、アルゴンガス雰囲気中で行い、原料棒の下部に種結晶を配置し、原料棒の下部から上方に沿って単結晶を育生する。

このようにして得た  $\text{ZrB}_2$  単結晶の結晶方位を X 線で確認し、 $(0001)$  面の板を切り出す。 $\text{ZrB}_2$  板の厚さは、切断時点では、 $0.4 \text{ mm} \sim 0.55 \text{ mm}$ 程度で、これを研削加工して  $0.1 \text{ mm} \sim 0.3 \text{ mm}$ 程度の厚さにする。

## 【0029】

次に、図1に示すように基板側面となる部位の結晶方位を測定して、外辺の側面を(10-10)面4、または、(11-20)面に正確に合わせ、外形形状を整える研削加工を行う。

## 【0030】

そして、上記基板をコロイダルシリカなどの砥粒を用いて研磨加工し、厚さを0.06~0.1mm程度にする。本発明のZrB<sub>2</sub>単結晶基板1は、0.1mmを越える厚さでは安定に劈開することは困難であるため、加工による厚さのばらつきを考慮すると、0.1mm程度以下の厚さに加工することが好ましい。

## 【0031】

次に、本発明のZrB<sub>2</sub>単結晶基板の劈開についての実施例を説明する。

図1に示すように、厚さが0.06mmのZrB<sub>2</sub>単結晶基板1を、この結晶の(10-10)面4に沿って、表面2もしくは裏面3をダイヤモンドペンを用いてスクライブし、スクライブ線5が劈開の基線となるように応力をかけて切断する。

## 【0032】

図5は、厚さ0.06mmの(0001)面ZrB<sub>2</sub>単結晶基板を(10-10)面に平行に切断した切断部を基板の斜め上方から観察した拡大写真を示す図である。図において、写真中央部下部から斜め左方向の矢印で示した線が、(0001)面2と(10-0)面と、(10-11)面7との交線8に相当する。この交線8の下部の矢印で示した部位が、ZrB<sub>2</sub>単結晶基板1にスクライブした跡5である。上記交線8の右側の切断面は(10-10)面4であり、基板表面に該当する(0001)面2との交線8に対して良好な直線性を保っている。

## 【0033】

この方法においては、破断しようとする破断面の始点から終点まで完全に基板裏面3にスクライブ加工しても良いが、基板裏面3または表面2の一部に2~3mm程度の長さのスクライブ加工を施して、このスクライブ線に応力をかけると、スクライブしていない部分にも自発的に(10-10)面4に沿った切断が起きる。このように、ダイヤモンドペンなどを用いてスクライブし、応力をかけて

割った場合には、基板表面の(0001)面2との交線8で良好な直線を保って切断できる。

#### 【0034】

図6は、 $ZrB_2$ 単結晶基板の厚さを0.1mm以下として良好な切断面が得られたときの切断面のX線による背面ラウエ写真を示す図である。このX線によるラウエ斑点のパターンによれば、切断面は、(10-10)面4からなることを示しており、 $ZrB_2$ 単結晶基板1の本来の劈開面に相当する(10-11)面7のものではない。

#### 【0035】

次に、本発明の $ZrB_2$ 単結晶基板の機械的な切断についての実施例を説明する。

上記の本発明の $ZrB_2$ 単結晶基板の劈開に対して、素子の分割に一般に使用されるダイヤモンドブレードを使ったダイサーで基板を切断した例を示す。

図1に示した形状の0.06mmの $ZrB_2$ 単結晶基板1の(0001)面2を、この結晶の(10-10)面4に沿ってダイサーを用いて切断した。図7は、厚さ0.06mmの(0001)面 $ZrB_2$ 単結晶基板を(10-10)面に沿って、ダイサーにより切断した切断面の拡大写真を示す図である。図示するように、(10-10)面4には、磨りガラス状の細かい破面が観察され、スクライプによる切断面とは明確に識別することができる。

#### 【0036】

次に、本発明の $ZrB_2$ 単結晶基板の破断について、基板の厚さを厚くした場合の比較例を説明する。

厚さが0.33mmの $ZrB_2$ 単結晶基板の(0001)面を、この結晶の(10-10)面に沿って、表面もしくは裏面に、基板の側面から2~3mmのスクライブ加工を行い、スクライブ線に沿って応力をかけて切断する。

図8は、厚さ0.33mmの(0001)面 $ZrB_2$ 単結晶基板を(10-10)面に沿って破断した比較例の破断部を基板斜め上方から撮影した写真を示す図である。基板が0.33mmと厚いときには破断面は屈曲し、(10-10)面4に沿った直線性を保つ破断が起こらない。

## 【0037】

図9は、厚さ0.33mmの(0001)面 $ZrB_2$ 単結晶基板裏面に、破断しようとする個所の始点から終点まで完全にスクライプ加工を行い破断した比較例の破断部を基板斜め上方から撮影した写真を示す図である。

基板が厚いときでも、基板裏面に完全にスクライプ加工を行うと、半導体レーザーダイオードの共振器の形成には使用できないものの、半導体装置の種類によっては、素子分割には問題が無い程度の破断は可能である。

## 【0038】

次に、本発明の基板を用いた半導体レーザーダイオード(LD)に係る第2の実施の形態を示す。

図10は、本発明に係る第2の実施の形態によるLDの構造を示す斜視図であり、図11は図10の光路方向の断面を示す断面図である。

本発明のLD10は、(0001)面を方位とする $ZrB_2$ 単結晶基板1上にLD構造11が形成されている。LD構造11の最上部にスライプ状の電極17と、 $ZrB_2$ 基板1の裏面に電極18が設けられている。

$ZrB_2$ 基板1の厚さは、0.1mm以下が好ましい。

光路21に垂直な面である対向端面19(19A, 19B)と、20(20A, 20B)が劈開により形成される。

ここで、LD10のファブリペロー共振器は、窒化物系化合物半導体によるLD構造11の対向端面19A, 20Aが(10-10)面4からなり、そして、 $ZrB_2$ 単結晶基板1の対向端面19B, 20Bが同じ(10-10)面4を有している。

## 【0039】

LD構造11は、窒化物系化合物半導体の多重層からなり、 $ZrB_2$ 単結晶基板1上に、低抵抗化されたn型( $n^+$ )Ga<sub>0.9</sub>N層12、n型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層13、Ga<sub>0.9</sub>In<sub>0.1</sub>N活性層14、p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層15、低抵抗化されたp型( $p^+$ )Ga<sub>0.9</sub>N層16が、順次積層されて形成される。

$n^+$ Ga<sub>0.9</sub>N層12と $ZrB_2$ 単結晶基板1との界面に空乏層が形成されないように、 $n^+$ Ga<sub>0.9</sub>N層12へは、できるだけ高濃度のSiによる不純物添加を行う

ことが好ましい。

さらに、動作層 11 の最上層の  $p^+$  型 GaN 層 16 上に、 $p$  層へのオーミック電極 17 が設けられ、 $ZrB_2$  基板 1 の裏面に、 $n$  層へのオーミック電極 18 が設けられている。

ここで、LD 構造 11 となる窒化物系化合物半導体の多重層は、 $Al_x Ga_y In_z N$  (ここで、 $x + y + z = 1$ ) を用いることができる。

また、本例の LD 構造 11 は、所謂ダブルヘテロ構造であるが、LD 構造 11 は、例えば、量子井戸構造あるいは多重量子井戸構造などを用いてよい。

#### 【0040】

次に、上記構成の実施の形態 2 の LD の特徴を説明する。

ファブリペロー共振器を形成する窒化物系化合物半導体の劈開面である (10-10) 面は、厚さが 0.1 mm 以下とした  $ZrB_2$  単結晶基板 1 の劈開面である (10-10) 面と同じであることから、容易に劈開されると共に、平坦性の高い鏡面が得られる。

#### 【0041】

従って、本発明の LD 10 のファブリペロー共振器の劈開面において、第 1 の従来例であるサファイア基板を用いた窒化物系化合物半導体による LD 40 の劈開面に比べて、非常に平坦性の高い鏡面を有する劈開面 19A, 20A が再現性よく得られる。これにより、LD 10 のファブリペロー共振器の損失が減少して  $Q$  が向上し、LD 10 のレーザ発光の閾値電流を低下させることができる。

また、第 1 の従来例によるサファイア基板 41 を用いた窒化物系化合物半導体による LD 40 と比較すると、導電性の  $ZrB_2$  単結晶基板 1 の裏面に  $n$  層へのオーミック電極 18 を形成することができる。

これにより、本発明の LD 10 は、III-V 族化合物系半導体による LD と同じ縦構造が実現できる。

#### 【0042】

本発明の LD 10 によれば、窒化物系化合物半導体による縦構造 LD が実現できることから、第 1 の従来例の LD 40 のように、 $n$  層の電極 48B を素子上面に形成する必要がない。これにより、本発明の LD 10 によれば、第 1 の従来例

のように  $n^+$  GaN 層 43 を素子上面に露出させるための工程が不要となり、工程処理時間を短縮できるので、歩留まりが向上し、コストが低下する。

また、 $ZrB_2$  単結晶基板 1 の熱伝導率は、サファイア基板 41 よりも大きいので、本発明の LD 10 の放熱が良好に行われる。これにより、本発明の LD 10 によれば、第 1 の従来例による LD 40 と同じレーザ光出力が、より低い接合温度で得られるので、LD 10 の連続動作時間を長くでき、長寿命化を達成できるので、信頼性が著しく向上する。

#### 【0043】

次に、本発明の基板を用いた LD の製造方法である第 3 の実施の形態を示す。図 12 は本発明に係る第 3 の実施の形態による LD の製造方法を示す図である。図 12 (a) に示すように、最初に (0001) 面 2 を方位とする  $ZrB_2$  単結晶基板 1 に、有機金属化合物を用いた CVD 法 (MOCVD 法)、または、分子線エピタキシー法 (MBE 法) によって、 $n^+$  型 GaN 層 12,  $n$  型  $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$  層 13,  $Ga_{0.9}In_{0.1}N$  活性層 14,  $p$  型  $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$  層 15,  $p^+$  GaN 層 16 を順次に結晶成長させ、窒化物系化合物半導体の LD 動作層 11 を形成する。

$ZrB_2$  単結晶基板 1 は、図 1 で説明した角形の基板や図 2 に示すような円形の円盤形の基板を使用する。 $ZrB_2$  と窒化物系化合物半導体は、同じ六方晶であり、 $ZrB_2$  単結晶基板の (0001) 面 2 に成長させた窒化物系化合物半導体は、(0001) 軸方向、(10-10) および (11-20) 方向において、 $ZrB_2$  単結晶基板 1 の結晶方位と一致するエピタキシャル成長を行う。

#### 【0044】

次に、図 12 (b) で示すように、LD 動作層 11 の最上層の  $p^+$  GaN 層 16 に、オーミック電極となる金属層を、スパッタ法あるいは電子ビーム蒸着法によって形成し、熱処理してオーミック電極 17 を形成する。

LD 動作層 11 のエピタキシャル成長の後に、 $SiO_2$  のような絶縁物を CVD 法により堆積して、窓開けした領域のみにオーミック電極 17 をストライプ状に形成してもよい。

#### 【0045】

次に、図12(c)で示すように、 $ZrB_2$  単結晶基板1が、およそ0.1 mm以下である場合には、 $ZrB_2$  単結晶基板1の裏面に、 $n$ 層へのオーミック電極18となる金属層を、スパッタ法あるいは電子ビーム蒸着法によって形成し、熱処理してオーミック電極18を形成する。また、 $ZrB_2$  単結晶基板の厚さが、例えば0.3 mmである場合には、 $ZrB_2$  基板の厚さが0.1 mm以下になるように研磨した工程の後で、オーミック電極18を形成すればよい。

次に、このように加工した $ZrB_2$  単結晶基板1及びLD動作層11を光路方向と垂直に、裏面からスクライブやポイントスクライブなどを行い、図示するようにAの破線で表わす個所で、劈開を用いて切断する。この切断面は、 $ZrB_2$  単結晶基板1の(10-10)面4となるようにする。

#### 【0046】

次に、図12(d)で示すように、 $ZrB_2$  基板1の(11-20)面に沿って図のBの破線で表わす個所を、ダイヤモンドブレードによる切断機によって切断し多数個に分割する。

図12(e)に示すように、窒化物系化合物半導体の対向端面19A、20Aは、窒化物系化合物半導体からなる素子構造の(10-10)面の劈開面であり、19B、20Bは、 $ZrB_2$  基板31の(10-10)面4である。

#### 【0047】

このように、(0001)面2を主表面とする $ZrB_2$  単結晶基板1を(10-10)面4に平行に分割すると、LD動作層11の窒化物系化合物半導体の多重層の対向端面19A、20Aは滑らかで平行度の高い面とすることができる。これにより、 $ZrB_2$  単結晶基板1上に形成したLD10は、対向端面19A、20A間により損失の少ないファブリペロー共振器を形成できるので、LD10の発振効率を向上させることができる。

#### 【0048】

次に、本発明の基板を用いた半導体装置に係る第4の実施の形態を示す。

図13は、本発明に係る第4の実施の形態による半導体装置の構成を示す断面図である。本発明の半導体装置30は、(0001)面2を方位とする $ZrB_2$  単結晶基板31上に、素子構造32が形成されている。素子構造32は、A1、

Ga, Inの少なくとも一つを含む窒化物系化合物半導体 ( $Al_x Ga_y In_z N$ , ここで、 $x + y + z = 1$ ) からなるLED, フォトディテクタ, ヘテロ接合バイポーラトランジスタ (HBT), 電界効果トランジスタ (FET), これらの半導体装置による集積回路などの半導体素子である。

これらの半導体装置の  $ZrB_2$  単結晶基板 31 の厚さは、LED、フォトディテクタ、HBT、FETのように、図9に示す程度の厳密な破断線でなくとも素子分離に問題がない場合には、0.3mm程度の厚さであれば、多少の起伏はあるものの (10-10) 面4に平行に素子分割することができる。

また、例えばマイクロ波帯以上の動作周波数の電力用トランジスタのHBTやFETのような場合には、放熱を考慮して、 $ZrB_2$  単結晶基板 31 の厚さは、0.1mm以下が好ましい。

#### 【0049】

図14は、本発明に係る第4の実施の形態によるHBTの構成を示す断面図である。図示するように、素子構造 32 の表面の電極 33A, 33Bは、それぞれエミッタ電極、ベース電極である。 $ZrB_2$  単結晶基板 3 の裏面の電極 34は、コレクタ電極である。本発明のHBTは、 $ZrB_2$  単結晶基板 31 が導電性があるので、この裏面にコレクタ電極を形成できる。

本発明のHBTによれば、第1の従来例のサファイア基板によるHBTにおいて実現できない縦構造のHBTが、容易に実現できる。

#### 【0050】

図15は、本発明に係る第4の実施の形態によるFETの構成を示す断面図である。図示するように、素子構造 32 の表面の電極 33A, 33B, 33Cは、それぞれ、HBTのエミッタ電極、ベース電極、コレクタ電極に相当するソース電極、ゲート電極、ドレイン電極である。ここで、基板裏面へ電極 34 を形成し、接地電極とすることができる。ソース電極 33A、または、ゲート電極 33Bは、例えばバイアホールにより基板電極へ接続できる。このようにすることで、ソース、または、ゲートの寄生インダクタンスを著しく減少できる。

本発明のFETによれば、 $ZrB_2$  単結晶基板を接地できるので、寄生インダクタンスを著しく減少させることができ、動作周波数を容易に高めることができ



る。また、基板からの放熱が良好に行われるので、出力電力と効率の向上が達成できる。

#### 【0051】

図16は、本発明に係る第4の実施の形態によるダイオードの構成を示す断面図である。図示するように、素子構造32の表面の電極33と、 $ZrB_2$  基板31の裏面の電極34は、それぞれ、アノード、カソードである。アノードとカソードは逆にしてもよい。ここで、ダイオードは、LEDやフォトディテクタとしてのpinフォトダイオードやアバランシェフォトダイオード、あるいは、バラクタダイオードなどが好適である。

ここで、基板裏面の電極34は、アノードまたはカソードとなるので、第1の従来例のサファイア基板ではできない縦構造のダイードが容易に実現できる。

本発明のダイオードによれば、 $ZrB_2$  を窒化物系化合物半導体装置の基板として用いるので、基板側に電極を形成する縦型構造のダイオードを容易に、低コストで製作することができる。

#### 【0052】

次に、上記構成の実施の形態4の半導体装置の特徴を説明する。

第1の従来例によるサファイア基板を用いた窒化物系化合物半導体装置と比較すると、導電性の $ZrB_2$  単結晶基板31の裏面にオーミック電極を形成することができる。

これにより、本発明の半導体装置30は、III-V族化合物系半導体による縦構造のLEDやHBTが容易に実現できる。

#### 【0053】

本発明のLEDやHBTのような半導体装置30によれば、窒化物系化合物半導体による縦構造半導体装置が実現できることから、第1の従来例のLD40のように、LEDの基板に形成するアノードあるいはカソード電極やHBTのドレイン電極を素子上面に形成する必要がない。これにより、本発明のLEDやHBTのような縦構造の半導体装置30によれば、全ての電極を素子上面に露出させるための工程が不要となり、工程処理時間を短縮することができるので、歩留まりが向上する。

また、 $ZrB_2$  単結晶基板 31 の熱伝導率は、サファイア基板 41 よりも大きいので、本発明の半導体装置 30 の放熱が良好に行われる。これにより、本発明の半導体装置 30 によれば、第 1 の従来例によるサファイア基板を用いた半導体装置と比べて、より低い温度で動作させられるので、HBT や FET の出力、効率、信頼性の著しい向上が達成できる。

#### 【0054】

次に、本発明の基板を用いた半導体装置の製造方法である第 5 の実施の形態を示す。図 17 は、本発明に係る第 5 の実施の形態による半導体装置の製造方法を示す図である。

図 17 (a) に示すように、最初に (0001) 面 2 を方位とする  $ZrB_2$  単結晶基板 31 に、有機金属化合物を使った CVD 法 (MOCVD 法) あるいは分子線エピタキシー法 (MBE 法) によって、窒化物系化合物半導体 ( $Al_xGa_yIn_zN$ 、ここで、 $x+y+z=1$ ) からなる半導体装置の素子構造 32 となるエピタキシャル層を形成する。 $ZrB_2$  単結晶基板 1 は、図 1 で説明した角形の基板や図 2 に示すような円形の円盤形の基板を使用する。

#### 【0055】

次に、図 17 (b) で示すように、素子表面の電極形成などの所定の加工の後で、素子構造 32 に電極 33 となるオーミック電極となる金属層を、スパッタ法あるいは電子ビーム蒸着法によって形成し、熱処理してオーミック電極を形成する。

図示しないが、素子構造 32 のエピタキシャル成長の後に、 $SiO_2$  のような絶縁物を CVD 法により堆積して、窓開けした領域のみに電極 33 を形成してもよい。

#### 【0056】

次に、図 17 (c) で示すように、 $ZrB_2$  単結晶基板 1 が、およそ 0.1 mm 以下である場合には、 $ZrB_2$  単結晶基板 1 の裏面に、オーミック電極となる金属層を、スパッタ法あるいは電子ビーム蒸着法によって形成し、熱処理してオーミック電極 34 を形成する。

また、 $ZrB_2$  単結晶基板 1 の厚さが 0.1 mm 以上の、例えば 0.3 mm で

ある場合には、 $ZrB_2$  単結晶基板の厚さが0.1mm以下になるように研磨した工程の後で、オーミック電極34を形成すればよい。

次に、このように加工した $ZrB_2$  単結晶基板1及び素子構造32を、図のAの破線で表わす個所で、高速回転するダイヤモンドブレードを用いたダイサーで切断する。この切断面は、 $(10-10)$  面4に直角な面である $(11-20)$  面がよい。

一枚の基板上に2以上の素子を形成した場合に分離を行う際に、分離する切断線の少なくとも一つを $(10-10)$  面4に平行にする。正方形もしくは長方形の素子の場合には、外辺の2辺が $(10-10)$  面4に平行になるようにし、残りの2辺が先の外辺に直交する $(11-20)$  面に平行になるようにする。

#### 【0057】

次に、図17(d)で示すように、 $ZrB_2$  単結晶基板の $(10-10)$  面4に沿って図のBの点線の個所を劈開し多数個に分割することにより、本発明の半導体装置30(図17(e))を製造することができる。

図17(e)に示すように、35A、36Aは、窒化物系化合物半導体からなる素子構造の $(10-10)$  面4であり、35B、36Bは、 $ZrB_2$  基板31の $(10-10)$  面4である。

$(10-10)$  面4に平行に分離する際にはダイヤモンドペンなどを用いたスクライバにてスクライブし、応力をかけて割ることにより容易に分割でき、切りしろが不要となる。

#### 【0058】

次に、本発明の基板を用いた半導体装置の製造方法である第5の実施の形態の別の実施例を示す。

図18は、本発明に係る第5の実施の形態によるLEDの製造方法を示す図である。

図18(a)に示すように、最初に $(0001)$  面2を有する $ZrB_2$  単結晶基板31に、有機金属化合物を使ったCVD法(MOCVD法)によって、窒化物系化合物半導体( $Al_xGa_yIn_zN$ 、ここで、 $x+y+z=1$ )からなるLEDの素子構造32となるエピタキシャル層を形成する。

$ZrB_2$  単結晶基板 1 は、図 1 で説明した角形の基板や図 4 に示すような円形の円盤形の基板を使用する。 $ZrB_2$  単結晶基板 1 の厚さは、0.3 から 0.35 mm 程度でよい。

#### 【0059】

次に図 18 (b) で示すように、所定の加工の後で、素子構造 32 に電極 33 となるオーミック電極となる金属層を、金属マスクを介してスパッタ法あるいは電子ビーム蒸着法によって形成し、熱処理してオーミック電極 33 を形成する。図示しないが、素子構造 32 のエピタキシャル成長の後に、 $SiO_2$  のような絶縁物を CVD 法により堆積して、窓開けした領域のみに電極 33 を形成してもよい。

#### 【0060】

次に、図 18 (c) で示すように、 $ZrB_2$  単結晶基板 1 の裏面に、オーミック電極となる金属層をスパッタ法あるいは電子ビーム蒸着法によって形成し、熱処理してオーミック電極 34 を形成する。次に、LED 構造 32 の表面側から、高速回転するダイヤモンドブレードを用いたダイサーで、賽の目状に切断する。この切断領域が 35 である。このときの、切り込み深さは、例えば 0.2 mm から 0.25 mm 程度でよい。この切断面は、 $(10-10)$  面 4 及びこの面に直角な面である  $(11-20)$  面がよい。一枚の基板上に 2 以上の素子を形成した場合に分離を行う際に、分離する切断線の少なくとも一つを  $(10-10)$  面 4 に平行にする。

正方形もしくは長方形の素子の場合には、外辺の 2 辺が  $(10-10)$  面 4 に平行になるようにし、残りの 2 辺が先の外辺に直交する  $(11-20)$  面に平行になるようにする。切断後に、窒化物系化合物半導体の LED 構造 32 のメサエッチングを行なってもよい。

最後に、上記の切断領域に沿って劈開し多数個に分割する。

#### 【0061】

図 18 (d) は、このようにして製造した、LED の斜視図である。

この際、LED においては直線性に優れた破断面が必ずしも必要でないので、基板厚さは、特に 0.1 mm 以下である必要はない。

本発明のLEDの製造方法によれば、 $ZrB_2$  単結晶基板1を用いた窒化物系化合物半導体の縦構造のLEDが容易に実現できる。また、この製造方法によれば、第1の従来例のサファイア基板では実現できない縦構造のLEDが、より少ない工程で実現できる。

#### 【0062】

本発明は、上記実施例に限定されることなく、特許請求の範囲に記載した発明の範囲内で種々の変形が可能であり、それらも本発明の範囲内に含まれることはいうまでもない。例えば、上記実施の形態で説明したLDの積層構造や製造方法については、例えば多重量子井戸構造等を構成しても、窒化物系化合物半導体の結晶方位は各層間で常に結晶方位を一致させたエピタキシャルな関係が保持されている限り、破断したときの結晶方位に依存する特徴は、窒化物半導体多重層の積層構造に関わらず適用し得ることは勿論である。

#### 【0063】

##### 【本発明の効果】

以上の説明から理解されるように、本発明によれば、厚さが0.1mm以下の(0001)面 $XB_2$  単結晶基板の(10-10)面に沿った、平坦な劈開面を容易に得ることができ、伝導性が高く、かつ熱伝導率が大きいため、窒化物系化合物半導体装置に最適な基板を提供することができる。

#### 【0064】

また本発明によれば、(10-10)面に沿った2つの劈開面を有する $XB_2$  単結晶基板の主表面上に、LD構造をなす窒化物系化合物半導体の多重層を備えたLDを縦構造で実現できる。LDのファブリペロー共振器をなす二つの対抗端面が、 $XB_2$  単結晶基板の(10-10)面に沿った劈開面に連なることによって、対向端面の面精度、平行度を高くすることができ、損失の少ないファブリペロー共振器を実現でき、レーザーの発振効率向上と長寿命化を達成できる。

#### 【0065】

また、本発明によれば、 $XB_2$  単結晶基板上に、LDとなる窒化物系化合物半導体の多重層を形成した後、 $XB_2$  単結晶基板および窒化物系化合物半導体の多重層を、 $XB_2$  単結晶基板の(10-10)面に沿って劈開して多数個に分割す

る工程により、きわめて簡単な工程で、高性能な窒化物系化合物半導体のLDを製造することができる。

#### 【0066】

また、本発明によれば、 $\text{XB}_2$  基板単結晶上に、窒化物系化合物半導体によるLED、受光素子、HBT、FETなどの半導体装置を形成でき、特にLEDやHBTにおいて縦構造の半導体装置を実現できる。

#### 【0067】

さらに、本発明によれば、 $\text{XB}_2$  単結晶基板上に、窒化物系化合物半導体によるLD、もしくは、LED、受光素子、HBT、FETなどの半導体装置を形成した後、 $\text{XB}_2$  単結晶基板および窒化物系化合物半導体装置を、 $\text{XB}_2$  単結晶基板の(10-10)面に沿って劈開して多数個に分割する工程により、きわめて簡単な工程で、高性能な窒化物系化合物半導体装置を製造することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

本発明に係る第1の実施の形態による $\text{XB}_2$  単結晶基板の構成を示す概略図である。

##### 【図2】

$\text{ZrB}_2$  単結晶における主要な面の相対関係を示す図である。

##### 【図3】

$\text{ZrB}_2$  単結晶基板の(0001)面を有する基板における(10-11)面の相対位置を示した斜視図である。

##### 【図4】

本発明の $\text{ZrB}_2$  単結晶基板の実施例を示す図である。

##### 【図5】

厚さ0.06mmの(0001)面 $\text{ZrB}_2$  単結晶基板を(10-10)面に平行に切断した切断部を基板の斜め上方から観察した拡大写真を示す図である。

##### 【図6】

$\text{ZrB}_2$  単結晶基板の厚さを0.1mm以下として良好な切断面が得られたときの切断面のX線による背面ラウエ写真を示す図である。

## 【図 7】

厚さ 0.06 mm の (0001) 面  $ZrB_2$  単結晶基板を (10-10) 面に沿って、切断機により切断した切断面の拡大写真を示す図である。

## 【図 8】

厚さ 0.33 mm の (0001) 面  $ZrB_2$  単結晶基板を、(10-10) 面に沿って破断した比較例の破断部を基板斜め上方から撮影した写真を示す図である。

## 【図 9】

厚さ 0.33 mm の (0001) 面  $ZrB_2$  単結晶基板裏面に、破断しようとする箇所の始点から終点まで完全にスクライプ加工を行い破断した比較例の破断部を基板斜め上方から撮影した写真を示す図である。

## 【図 10】

本発明に係る第 2 の実施の形態による LD の構造を示す斜視図である。

## 【図 11】

本発明の LD 構造の光路方向の断面を示す断面図である。

## 【図 12】

本発明に係る第 3 の実施の形態による半導体レーザダイオードの製造方法を示す図である。

## 【図 13】

本発明に係る第 4 の実施の形態による半導体装置の構成を示す概略断面図である。

## 【図 14】

本発明に係る第 4 の実施の形態による HBT の構成を示す断面図である。

## 【図 15】

本発明に係る第 4 の実施の形態による FET の構成を示す断面図である。

## 【図 16】

本発明に係る第 4 の実施の形態によるダイオードの構成を示す断面図である。

## 【図 17】

本発明に係る第 5 の実施の形態による半導体装置の製造方法を示す図である。

## 【図18】

本発明に係る第5の実施の形態によるLEDの製造方法を示す図である。

## 【図19】

従来のサファイア基板を用いた窒化物系化合物半導体によるLDの一例を示す斜視図である。

## 【符号の説明】

- 1 (0001)面XB<sub>2</sub>基板
- 2 (0001)面
- 3 XB<sub>2</sub>基板の裏面
- 4 (10-10)面
- 5 基板にスクライブした跡
- 6 オリエンテーションフラット
- 7 (10-11)面
- 8 (0001)面と(10-11)面の交線
- 10 半導体レーザダイオード
- 11 動作層
- 12 n<sup>+</sup>型GaN層
- 13 n型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層
- 14 InGaN活性層
- 15 p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層
- 16 p<sup>+</sup>型GaN層
- 17, 18 電極
- 19, 20, 35, 36 半導体レーザダイオードの対向端面
- 19A, 20A, 35A, 36A 窒化物系化合物半導体の対抗端面
- 19B, 20B, 35B, 36B ZrB<sub>2</sub>基板の対抗端面
- 30 本発明のZrB<sub>2</sub>基板を用いた半導体装置
- 31 ZrB<sub>2</sub>単結晶基板
- 32 素子構造
- 33, 34 電極

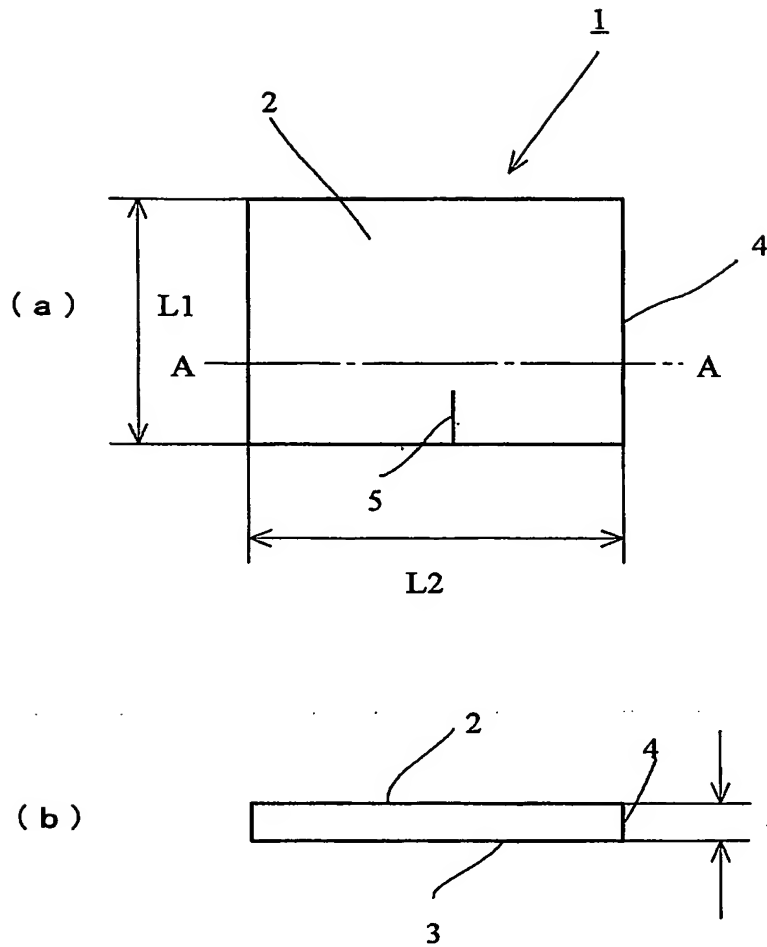


- 3 3 A エミッタ (ソース)
- 3 3 B ベース (ゲート)
- 3 3 C ドレイン
- 3 5 切断領域
- 4 0 第 1 の従来例のサファイア基板を用いた L D

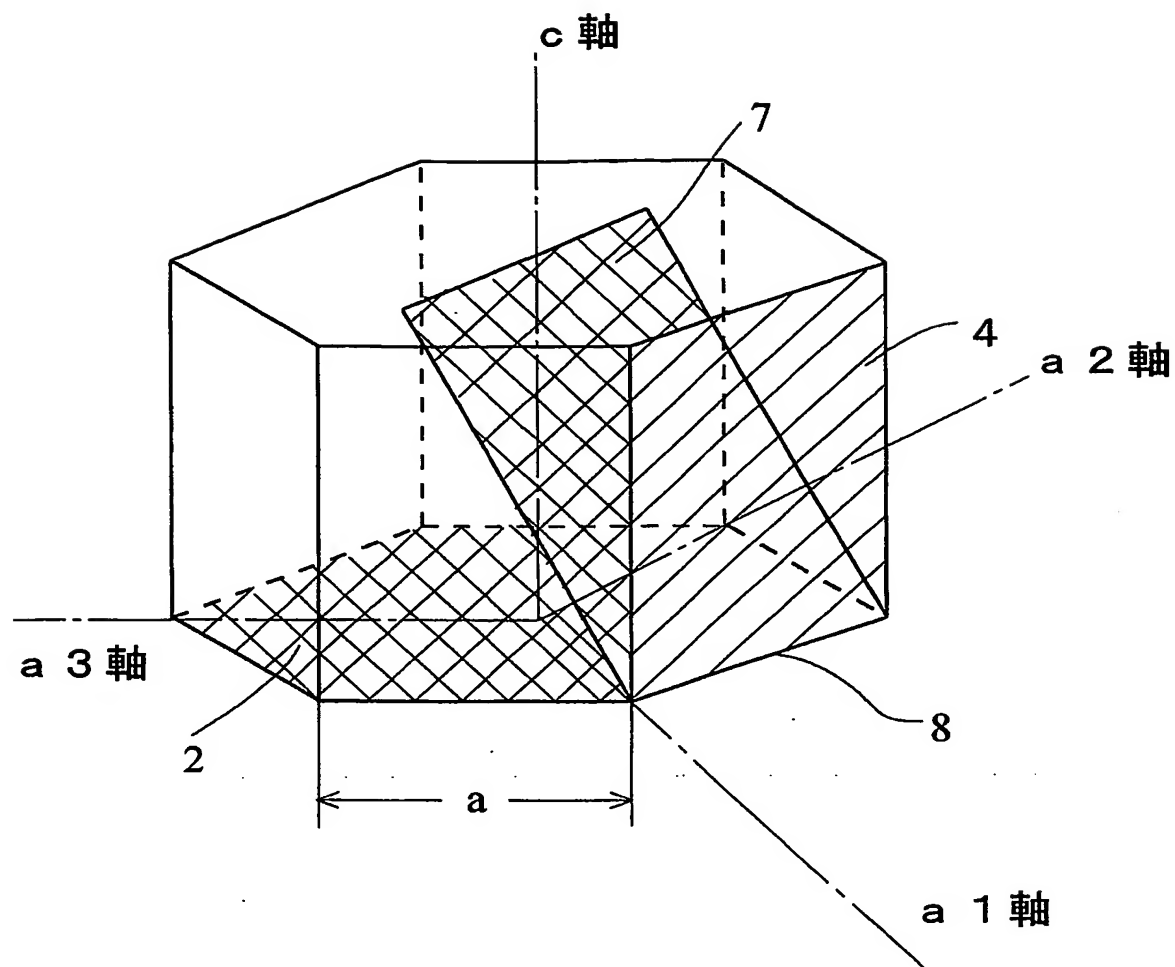
【書類名】

図面

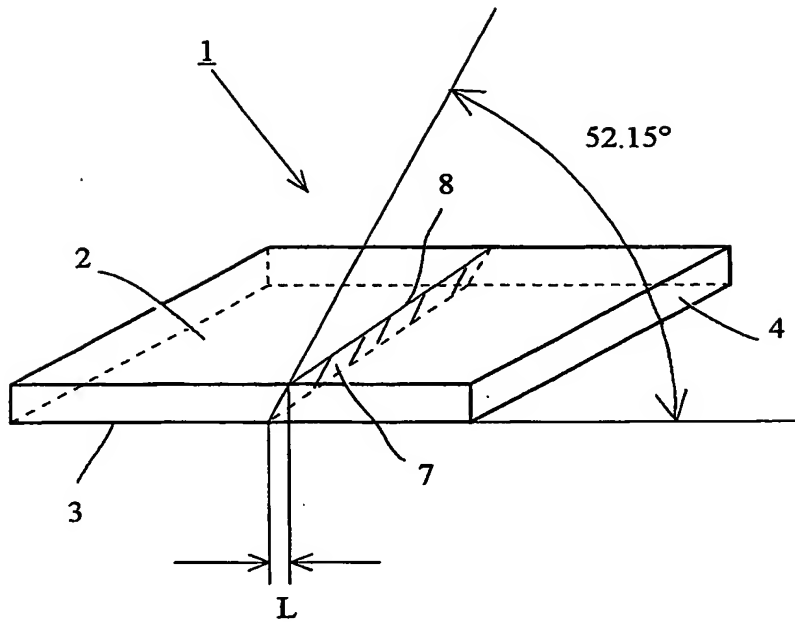
【図 1】



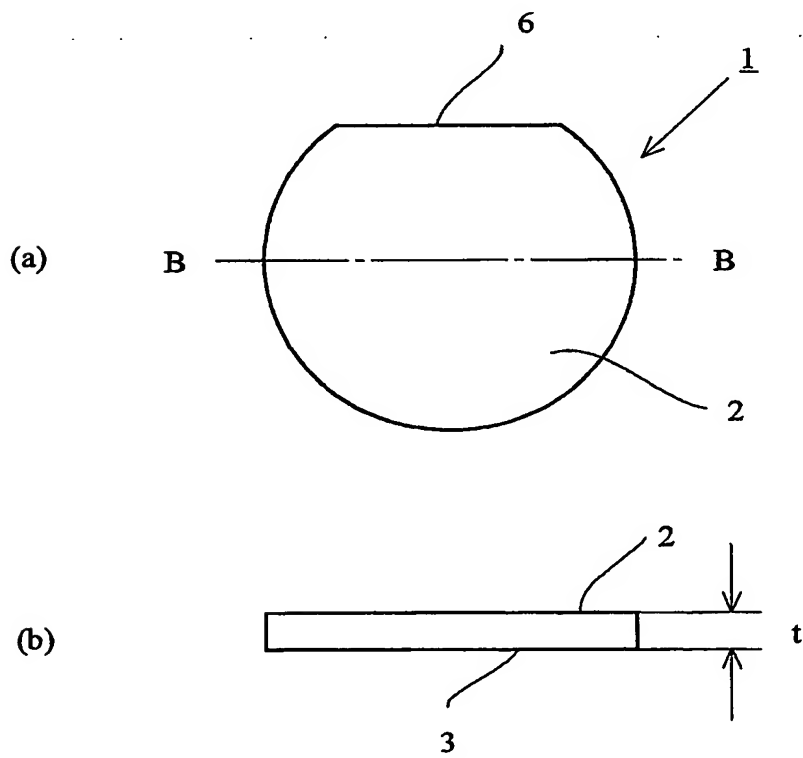
【図 2】



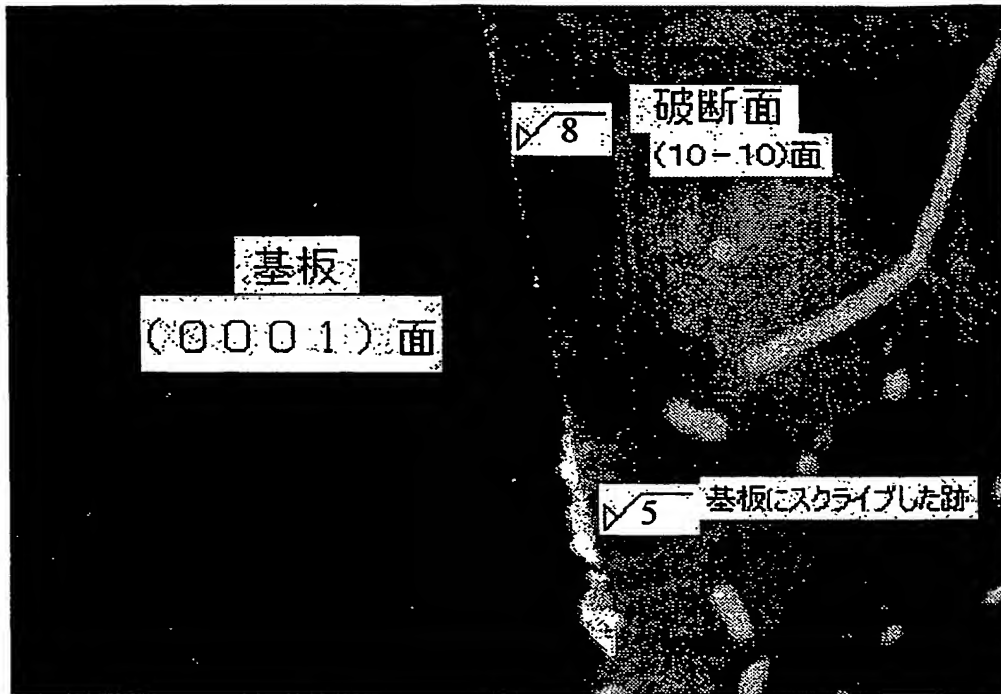
【図 3】



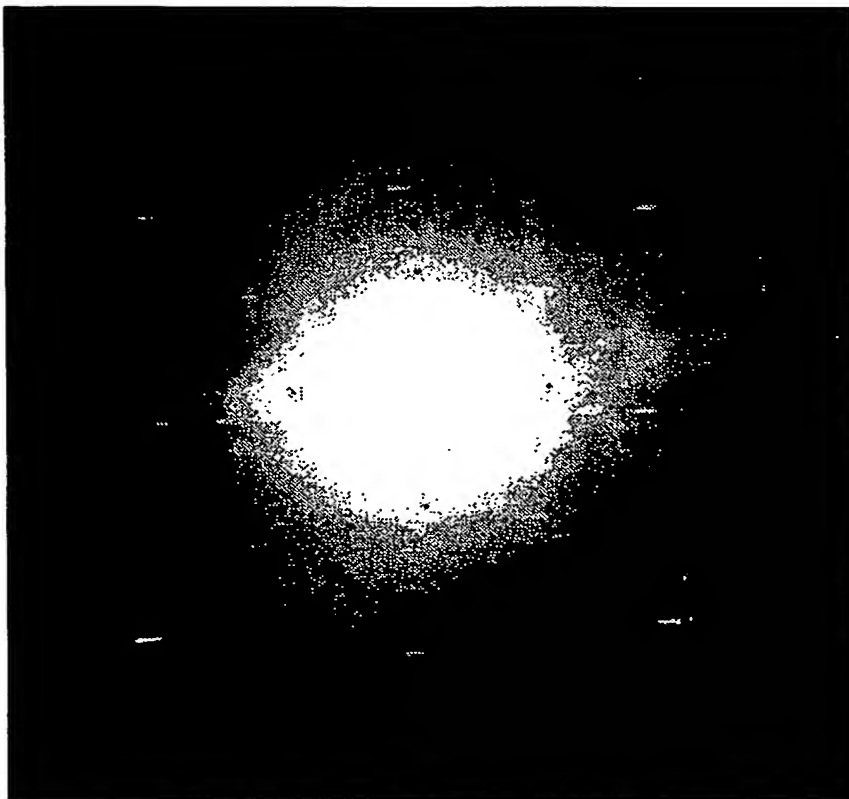
【図 4】



【図 5】



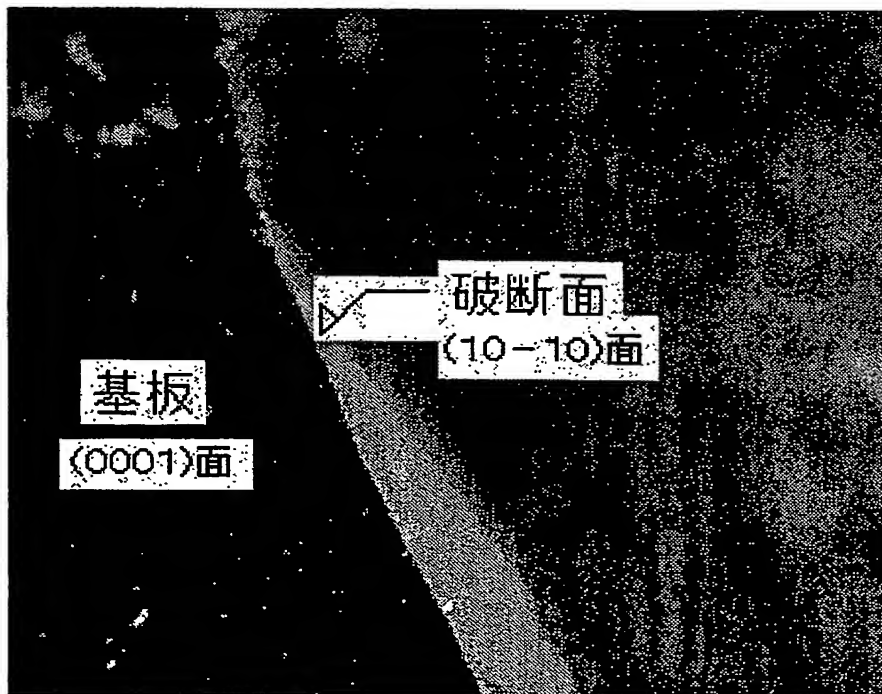
【図 6】



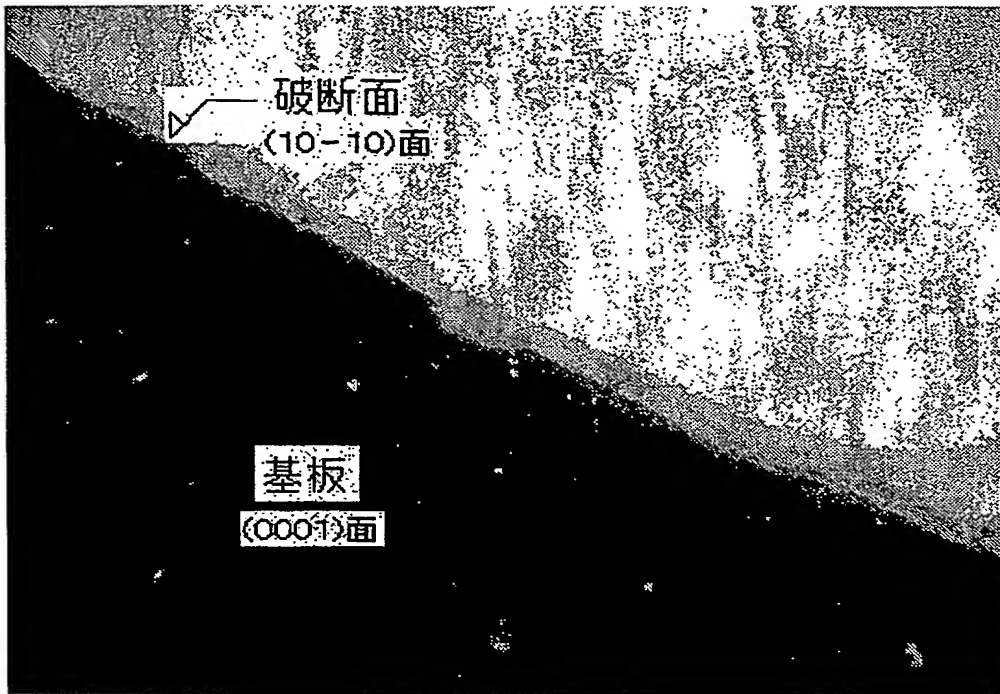
【図 7】



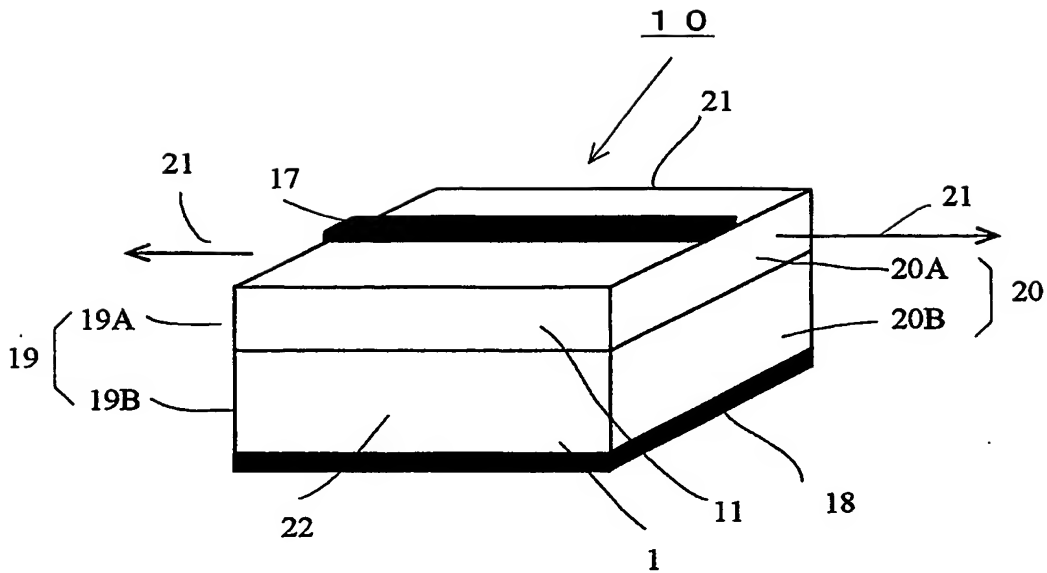
【図 8】



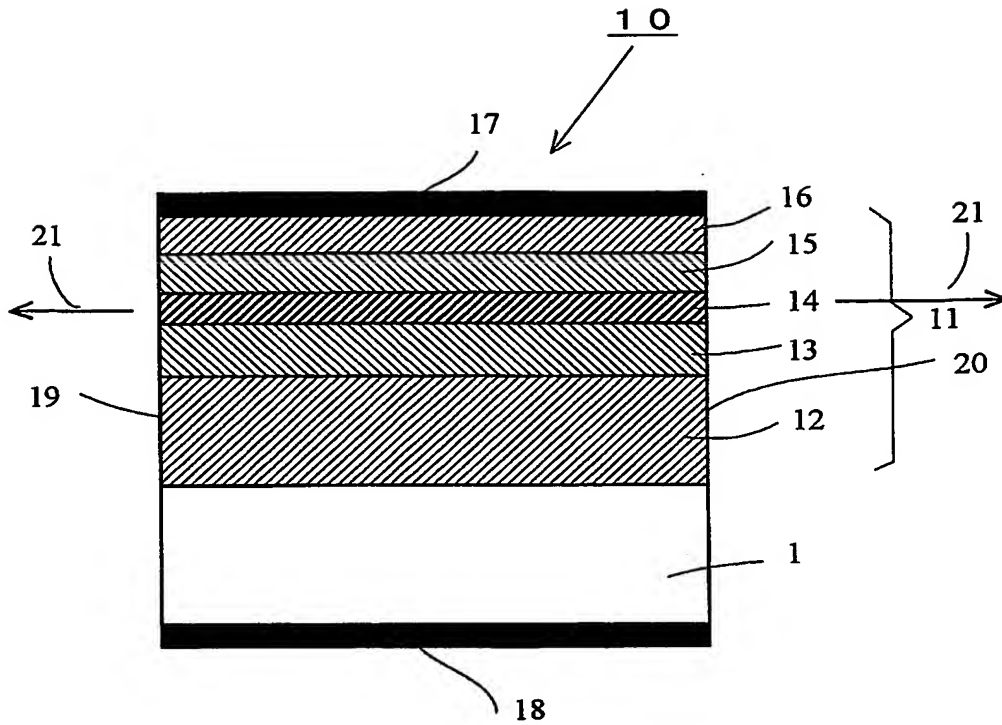
【図 9】



【図 10】

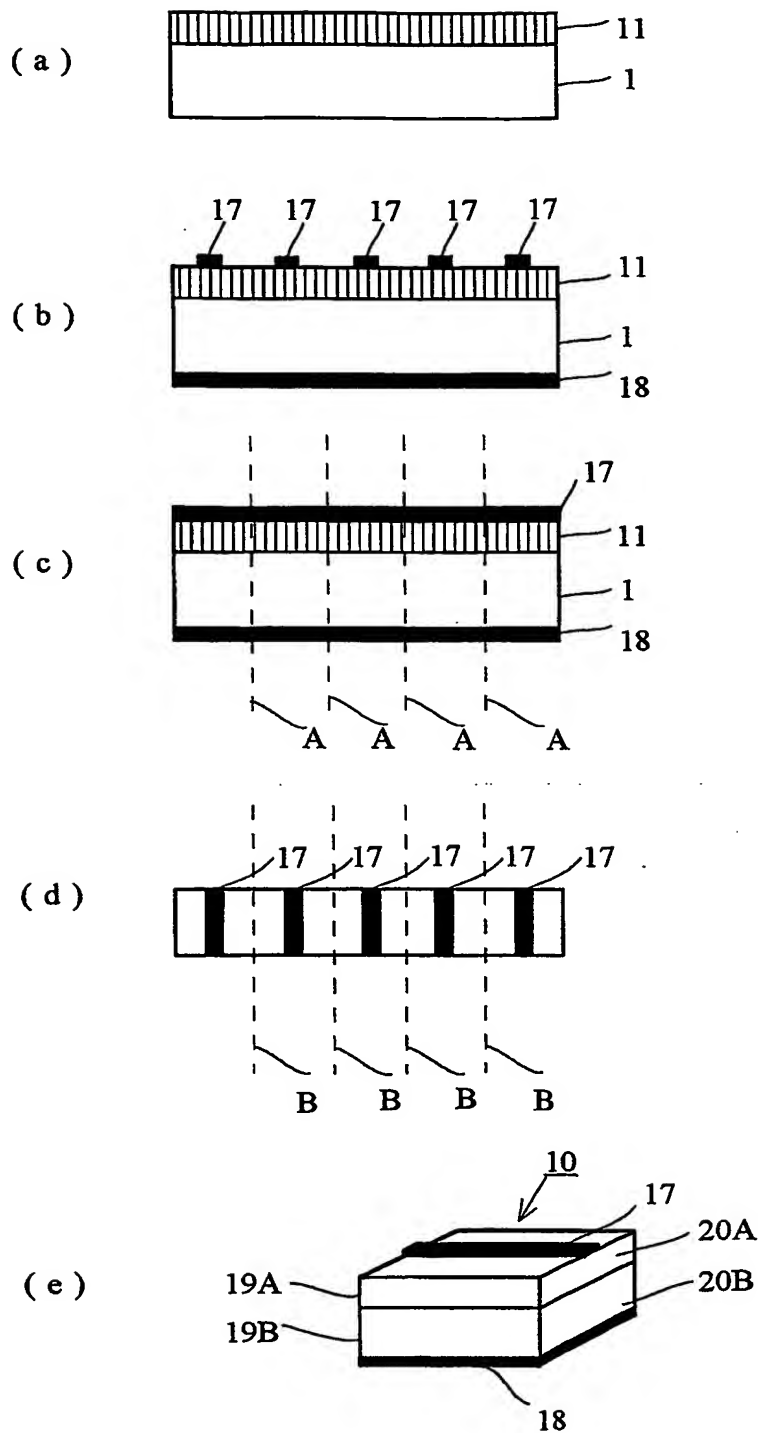


【図 11】

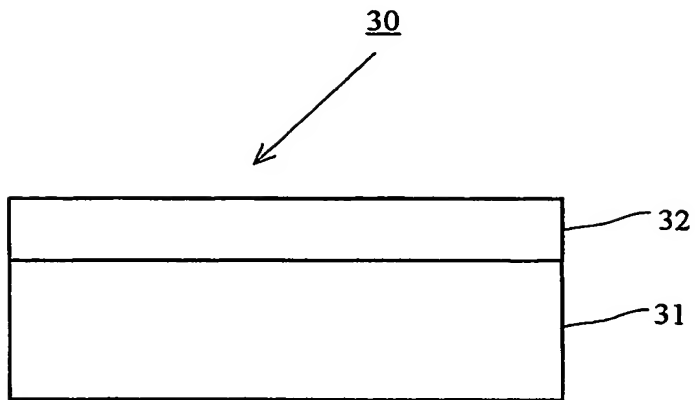




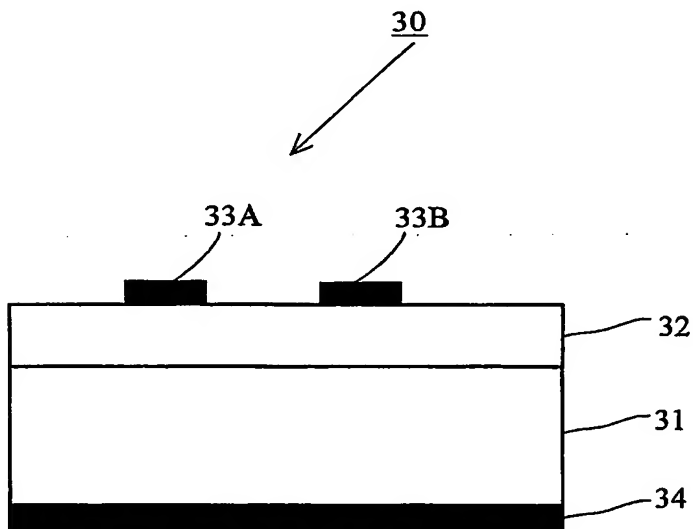
【図 12】



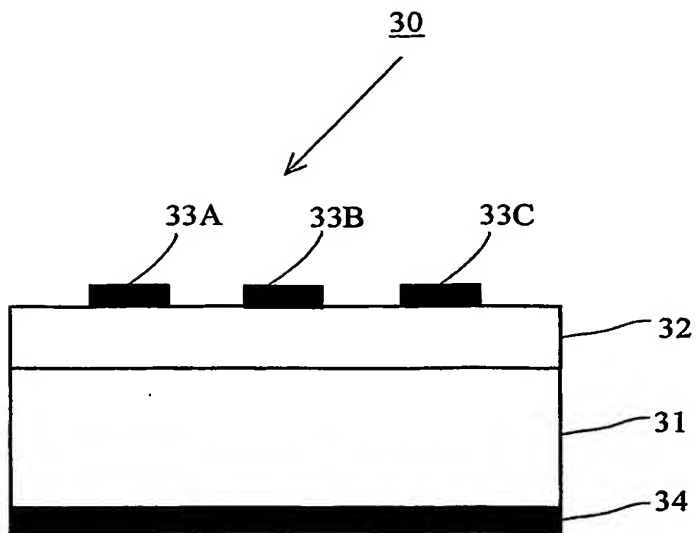
【図 13】



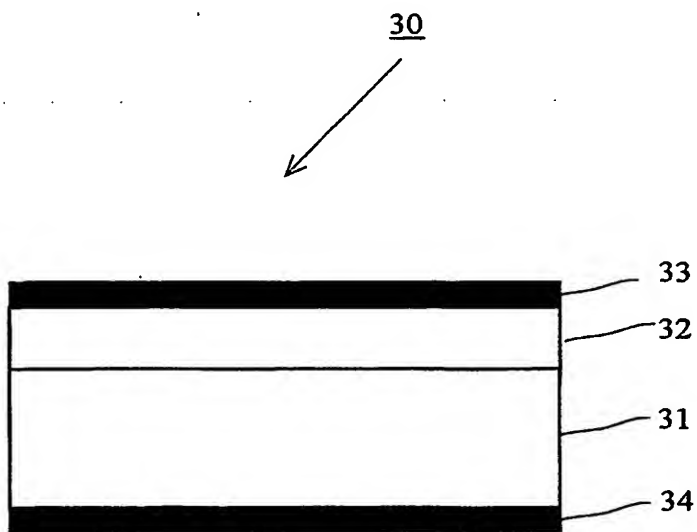
【図 14】



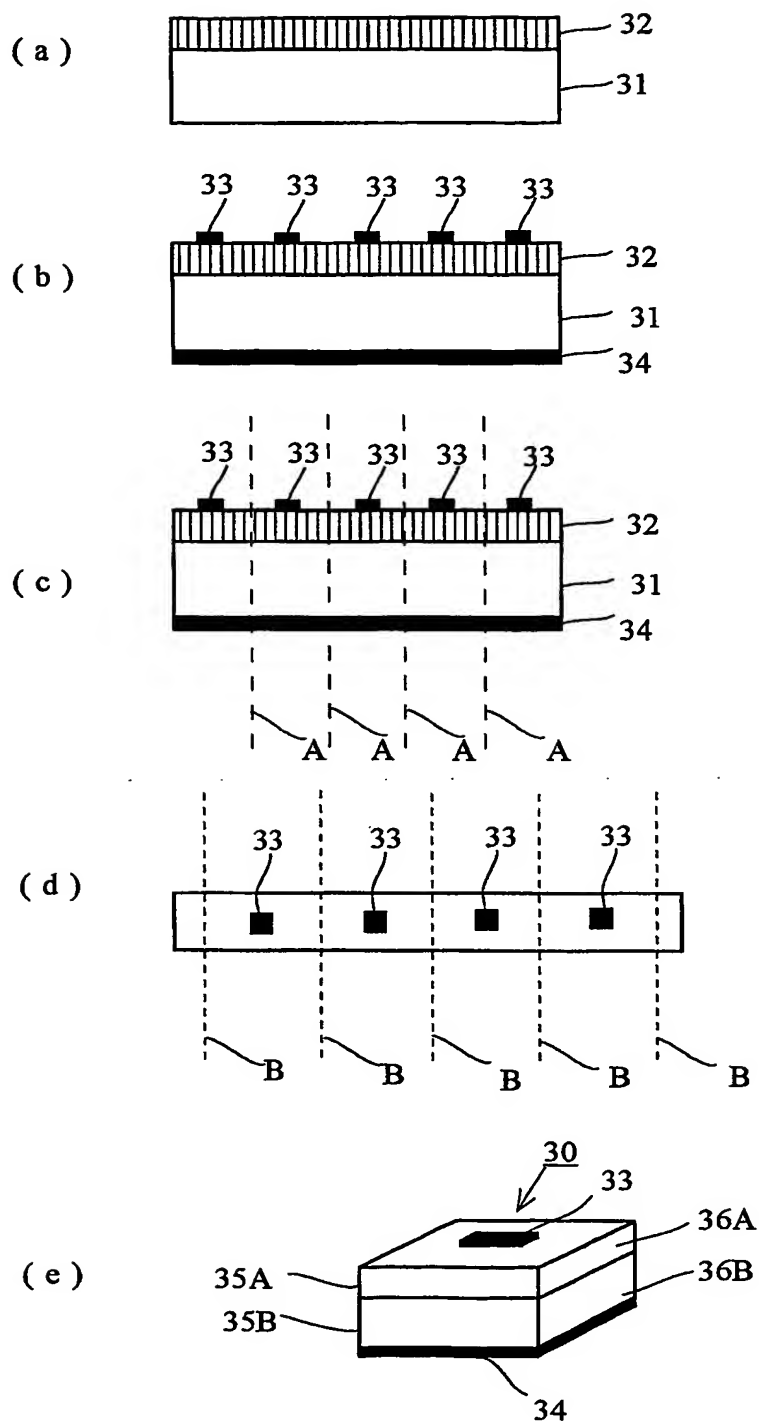
【図 15】



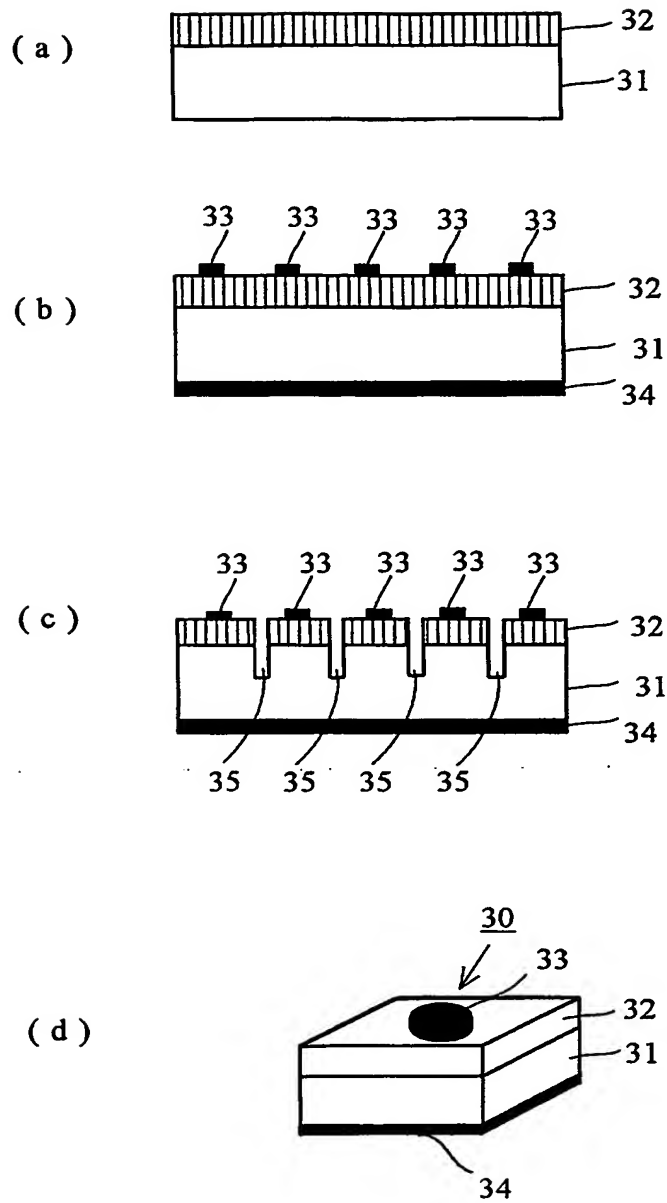
【図 16】



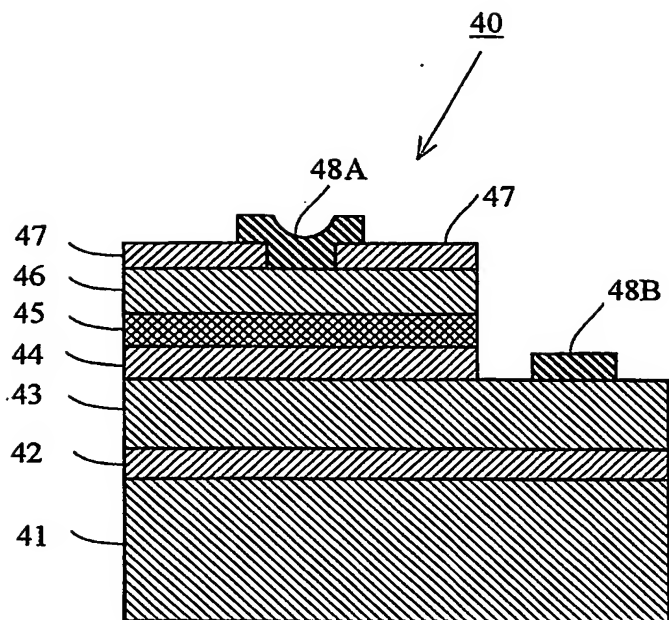
【図 17】



【図 18】



【図 19】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 窒化物系化合物半導体の劈開面と同じ劈開面を有し、かつ、導電性を有する二硼化物単結晶基板と、それを用いた半導体レーザダイオード及び半導体装置、並びにそれらの製造方法を提供する。

【解決手段】 二硼化物 $XB_2$ （ここで、Xは、ZrまたはTi）の単結晶基板1であって、面方位が（0001）面2であり、かつ基板の厚さを0.1mm以下としたことを特徴とする。（10-10）面4に沿った劈開、分割を容易に行うことができる。この基板を用いて窒化物系化合物による半導体レーザダイオードなどを形成すれば縦構造素子が実現できる。素子を分割する際に（10-10）面に平行に分割することで、損失の少ない半導体レーザダイオードの共振面などを形成することができる。切りしろによるロスが無い製造方法を実現できる。

【選択図】 図1

特願 2002-244895

出願人履歴情報

識別番号

[301023238]

1. 変更年月日

2001年 4月 2日

[変更理由]

新規登録

住 所

茨城県つくば市千現一丁目2番1号

氏 名

独立行政法人物質・材料研究機構



特願 2002-244895

出願人履歴情報

識別番号

[000006633]

1. 変更年月日 1990年 8月10日  
[変更理由] 新規登録  
住所 京都府京都市山科区東野北井ノ上町5番地の22  
氏名 京セラ株式会社
2. 変更年月日 1998年 8月21日  
[変更理由] 住所変更  
住所 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町6番地  
氏名 京セラ株式会社

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**